arruin 11 октября 2015 в 23:16

Изменение ёмкости керамических конденсато[...] температуры и напряжения, или как ваш кон[...] превращается в 0,33мкФ

Автор оригинала: Mark Fortunato

Электроника для начинающих

Перевод Tutorial

Вступление: я был озадачен.

Несколько лет назад, после более чем 25 лет работы с этими вещами, я узнал кое-что ново[...] Работая над драйвером светодиодной лампы я обнаружил, что постоянная времени RC-цеп[...] на расчётную.

Предположив, что на плату были впаяны не те компоненты, я измерил сопротивление двух [...] напряжения — они были весьма точны. Тогда был выпаян конденсатор — он так же был вел[...] взял новые резисторы и конденсатор, измерил их, и впаял обратно. После этого я включил [...] и ожидал увидеть что моя проблема с RC-цепочкой решена… Если бы.

Я проверял схему в её естественной среде: в корпусе, который в свою очередь сам по себе [...] кожух потолочного светильника. Температура компонентов в некоторых местах достигала б[...] чтобы освежить память я перечитал даташит на используемые конденсаторы. Так началось моё переосмысление керамических конденсаторов.

Справочная информация об основных типах керамических конденсаторов.

Для тех кто этого не помнит (как практически все), в **таблице 1** указана маркировка основных типов конденсаторов и её значение. Эта таблица описывает конденсаторы второго и третьего класса. Не вдаваясь глубоко в подробности, конденсаторы первого класса обычно сделаны на диэлектрике типа C0G (NP0).

Таблица 1.

Нижняя рабочая температура		Верхняя рабочая температура		Изменение ёмкости в диапазоне (макс.)	
Символ	Температура (°C)	Символ	Температура (°C)	Символ	Изменение (%)
Z	+10	2	+45	A	±1.0
Y	-30	4	+65	B	±1.5
X	-55	5	+85	C	±2.2
–	–	6	+105	D	±3.3
–	–	7	+125	E	±4.7
–	–	8	+150	F	±7.5
–	–	9	+200	P	±10
–	–	–	–	R	±15
–	–	–	–	S	±22
–	–	–	–	T	+22, -33
–	–	–	–	U	+22, -56

–	–	–	–	V	+22, -82

Из описанных выше на моём жизненном пути чаще всего мне попадались конденсаторы типа X5R, X7R и Y5V. Я никогда не использовал конденсаторы типа Y5V из-за их экстремально высокой чувствительности к внешним воздействиям.

Когда производитель конденсаторов разрабатывает новый продукт, он подбирает диэлектрик так, чтобы ёмкость конденсатора изменялась не более определённых пределов в определённом температурном диапазоне. Конденсаторы X7R которые я использую не должны изменять свою ёмкость более чем на ±15% (третий символ) при изменении температуры от -55ºС (первый символ) до +125ºС (второй символ). Так что, либо мне попалась плохая партия, либо что-то ещё происходит в моей схеме.

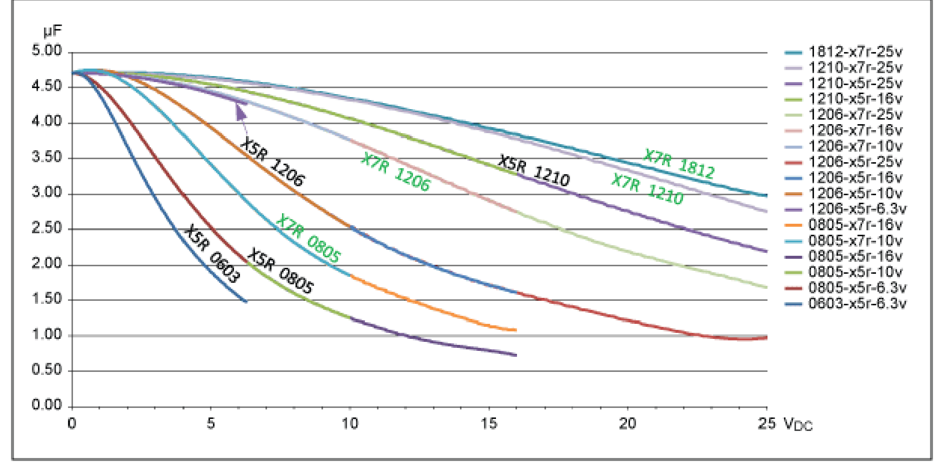
Не все X7R созданы одинаковыми.

Так как изменение постоянной времени моей RC-цепочки было куда больше, чем это могло быть объяснено температурным коэффициентом ёмкости, мне пришлось копать глубже. Глядя на то, насколько уплыла ёмкость моего конденсатора от приложенного к нему напряжения я был очень удивлён. Результат был очень далёк от того номинала, который был впаян. Я брал конденсатор на 16В для работы в цепи 12В. Даташит говорил, что мои 4,7мкФ превращаются в 1,5мкФ в таких условиях. *Это* объясняло мою проблему.

Даташит также говорил, что если только увеличить типоразмер с 0805 до 1206, то результирующая ёмкость в тех же условиях будет уже 3,4мкФ! Этот момент требовал более пристального изучения.

Я нашёл, что сайты Murata® и TDK® имеют классные инструменты для построения графиков изменения ёмкости конденсаторов в зависимости от различных условий. Я прогнал через них керамические конденсаторы на 4,7мкФ для разных типоразмеров и номинальных напряжений. На **рисунке 1** показаны графики построенные Murata. Были взяты конденсаторы X5R и X7R типоразмеров от 0603 до 1812 на напряжение от 6,3 до 25В.

Рисунок 1. Изменение ёмкости в зависимости от приложенного напряжения для выбранных конденсаторов.



Обратите внимание, что во-первых, при увеличении типоразмера уменьшается изменение ёмкости в зависимости от приложенного напряжения, и наоборот.

Второй интересный момент состоит в том, что в отличии от типа диэлектрика и типоразмера, номинальное напряжение похоже ни на что не влияет. Я ожидал бы, что конденсатор на 25В под напряжением 12В меньше изменит свою ёмкость, чем конденсатор на 16В под тем же напряжением. Глядя на график для X5R типоразмера 1206 мы видим, что конденсатор на 6,3В на самом деле ведёт себя лучше, чем его родня на большее номинальное напряжение.

Если взять более широкий ряд конденсаторов, то мы увидим, что это поведение характерно для всех керамических конденсаторов в целом.

Третье наблюдение состоит в том, что X7R при том же типоразмере имеет меньшую чувствительность к изменениям напряжения, чем X5R. Не знаю, насколько универсально это правило, но в моём случае это так.

Используя данные графиков, составим **таблицу 2**, показывающую насколько уменьшится ёмкость конденсаторов X7R при 12В.

Таблица 2. Уменьшение ёмкости конденсаторов X7R разных типоразмеров при напряжении 12В.

Типоразмер	Ёмкость, мкФ	% от номинала
0805	1,53	32,6
1206	3,43	73,0
1210	4,16	88,5
1812	4,18	88,9
Номинал	4,7	100

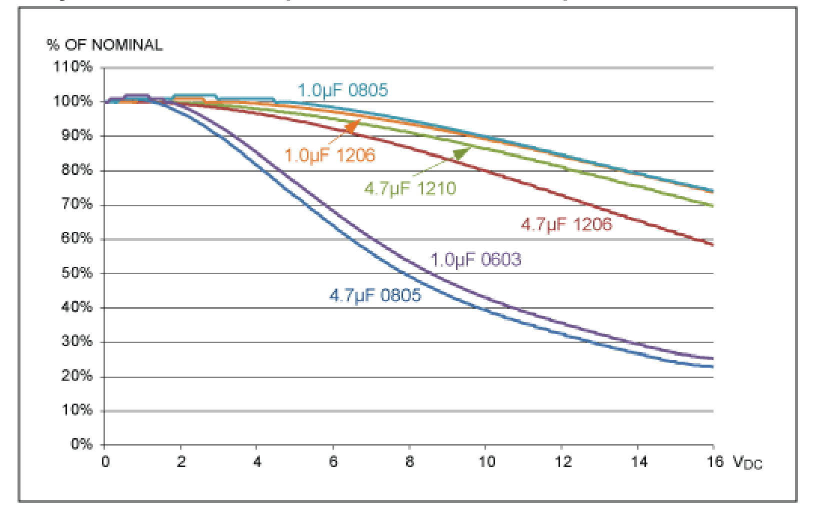
Мы видим устойчивое улучшение ситуации по мере роста размера корпуса пока мы не достигнем типоразмера 1210. Дальнейшее увеличение корпуса уже не имеет смысла.

В моём случае я выбрал наименьший возможный типоразмер компонентов, поскольку этот параметр был критичен для моего проекта. В своём невежестве я полагал что любой конденсатор X7R будет так же хорошо работать, как другой с тем же диэлектриком — и был неправ. Чтобы RC-цепочка заработала правильно я должен был взять конденсатор того же номинала, но в большем корпусе.

Выбор правильного конденсатора

Я очень не хотел использовать конденсатор типоразмера 1210. К счастью, я имел возможность увеличить сопротивление резисторов в пять раз, уменьшив при этом ёмкость до 1мкФ. Графики на **рисунке 2** показывают поведение различных X7R конденсаторов 1мкФ на 16В в сравнении с их собратьями X7R 4,7мкФ на 16В.

Рисунок 2. Поведение различных конденсаторов на 1мкФ и 4,7мкФ.



Конденсатор 0603 1мкФ ведёт себя так же, как 0805 4,7мкФ. Вместе взятые 0805 и 1206 на 1мкФ чувствуют себя лучше, чем 4,7мкФ типоразмера 1210. Используя конденсатор 1мкФ в корпусе 0805 я мог сохранить требования к размерам компонентов, получив при этом в рабочем режиме 85% от исходной ёмкости, а не 30%, как было ранее.

Но это ещё не всё. Я был изрядно озадачен, ибо считал что все конденсаторы X7R *должны* иметь сходные коэффициенты изменения ёмкости от напряжения, поскольку все выполены на одном и том же диэлектрике — а именно X7R. Я связался с коллегой — специалистом по керамическим конденсаторам[1]. Он пояснил, что есть много материалов, которые квалифицируются как «X7R». На самом деле, любой материал который позволяет компоненту функционировать в температурном диапазоне от -55ºC до +125ºC с изменением характеристик не более чем на ±15% можно назвать «X7R». Так же он сказал, что нет каких-либо спецификаций на коэффициент изменения ёмкости от напряжения ни для X7R, ни для каких-либо других типов.

Это очень важный момент, и я его повторю. Производитель может называть конденсатор X7R (или X5R, или еще как-нибудь) до тех пор, пока он соответствует допускам по температурному коэффициенту ёмкости. Вне зависимости от того, насколько плох его коэффициент по напряжению.

Для инженера-разработчика этот факт только освежает старую шутку — «любой опытный инженер знает: читай даташит!»

Производители выпускают всё более миниатюрные компоненты, и вынуждены искать компромиссные материалы. Для того чтобы обеспечить необходимые ёмкостно-габаритные показатели, им приходится ухудшать коэффициенты по напряжению. Конечно, более авторитетные производители делают все возможное, чтобы свести к минимуму неблагоприятные последствия этого

компромисса.

А как насчёт типа Y5V, который я сразу отбросил? Для контрольного в голову, давайте рассмотрим обычный конденсатор Y5V. Я не буду выделять какого-то конкретного производителя этих конденсаторов — все примерно одинаковы. Выберем 4,7мкФ на 6,3В в корпусе 0603, и посмотрим его параметры при температуре +85ºC и напряжении 5В. Типовая ёмкость на 92,3% ниже номинала, или 0,33мкФ. Это так. Приложив 5В к этому конденсатору мы получаем падение ёмкости в 14 раз по сравнению с номиналом.

При температуре +85ºC и напряжении 0В ёмкость уменьшается на 68,14%, с 4,7мкФ до 1,5мкФ. Можно предположить, что приложив 5В мы получим дальнейшее уменьшение ёмкости — от 0,33мкФ до 0,11мкФ. К счастью, эти эффекты не объединяются. Уменьшение ёмкости под напряжением 5В при комнатной температуре куда хуже, чем при +85ºC.

Для ясности, в данном случае при напряжении 0В ёмкость падает от 4,7мкФ до 1,5мкФ при +85ºC, в то время как при напряжении 5В ёмкость конденсатора увеличивается от 0,33мкФ при комнатной температуре, до 0,39мкФ при +85ºC. Это должно убедить вас действительно тщательно проверять все спецификации тех компонентов, которые вы используете.

Вывод

В результате этого урока я уже не просто указываю типы X7R или X5R коллегам или поставщикам. Вместо этого я указываю конкретные партии конкретных поставщиков, которые я сам проверил. Я также предупреждаю клиентов о том, чтобы они перепроверяли спецификации при рассмотрении альтернативных поставщиков для производства, чтобы гарантировать что они не столкнутся с этими проблемами.

Главный вывод из всей этой истории, как вы наверное догадались, это: «читайте даташиты!». Всегда. Без исключений. Запросите дополнительные данные, если даташит не содержит достаточной информации. Помните, что обозначения керамических конденсаторов X7V, Y5V и т.д. совершенно ничего не говорят о их коэффициентах по напряжению. Инженеры должны перепроверять данные чтобы знать, реально знать о том, как используемые конденсаторы будут вести себя в реальных условиях. В общем, имейте в виду, в нашей безумной гонке за меньшими и меньшими габаритами это становится всё более важным моментом каждый день.

Об авторе

Марк Фортунато провёл большую часть жизни пытаясь сделать так, чтобы эти противные электроны оказались в нужное время в нужном месте. Он работал над различными вещами — от систем распознавания речи и микроволновой аппаратуры, до светодиодных ламп (тех, которые регулируются правильно, заметьте!). Он провёл последние 16 лет помогая клиентам приручить их аналоговые схемы. Г-н Фортунато сейчас является ведущим специалистом подразделения коммуникационных и автомобильных решений Maxim Integrated. Когда он не пасёт электроны, Марк любит тренировать молодёжь, читать публицистику, смотреть как его младший сын играет в лакросс, а старший сын играет музыку. В целом, он стремится жить в гармонии. Марк очень сожалеет, что больше не встретится с Джимом Уильямсом или Бобом Пизом.

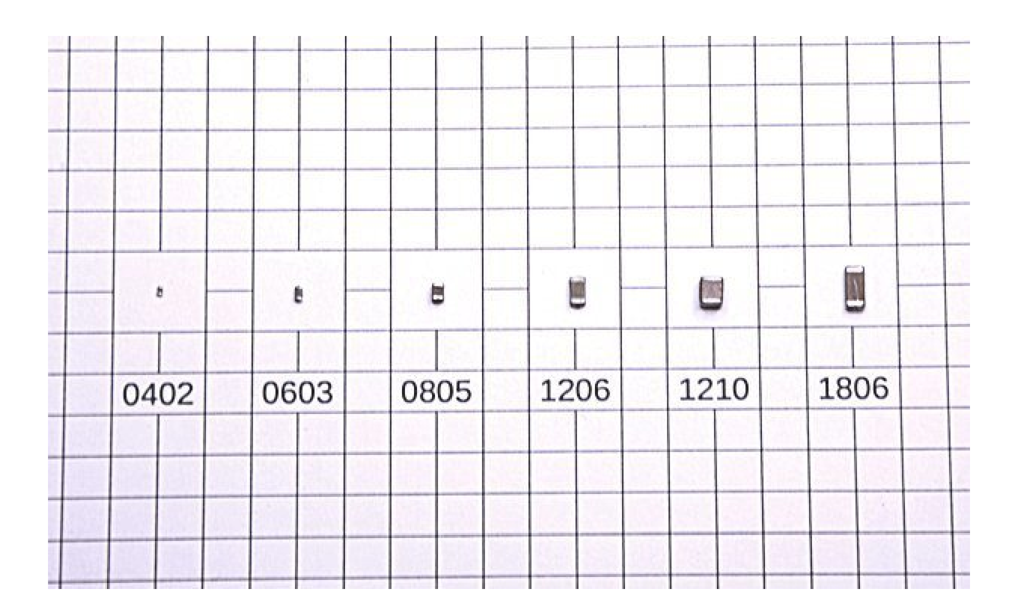
Сноски

[1] Автор хотел бы поблагодарить Криса Буркетта, инженера по применению из TDK за его объяснения «что здесь, чёрт возьми, происходит».

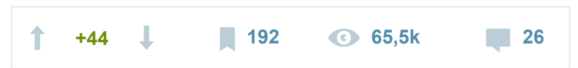
Murata является зарегистрированной торговой маркой компании Murata Manufacturing Co., Ltd.

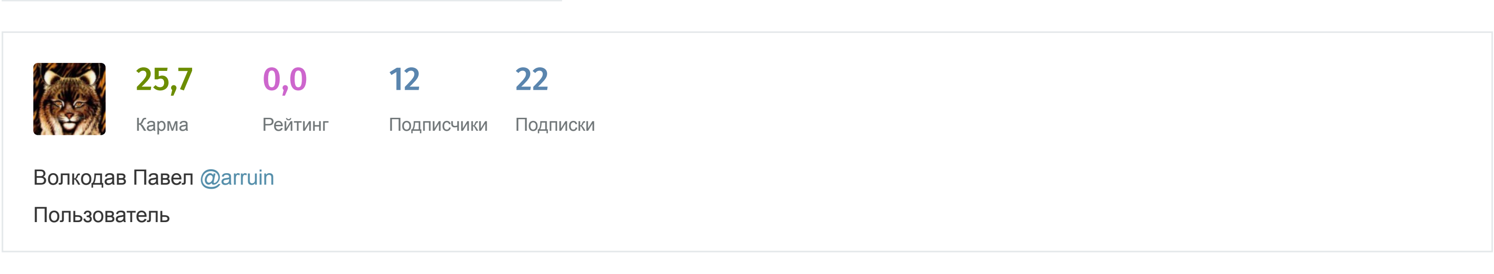
TDK является зарегистрированным знаком обслуживания и зарегистрированной торговой маркой корпорации TDK.

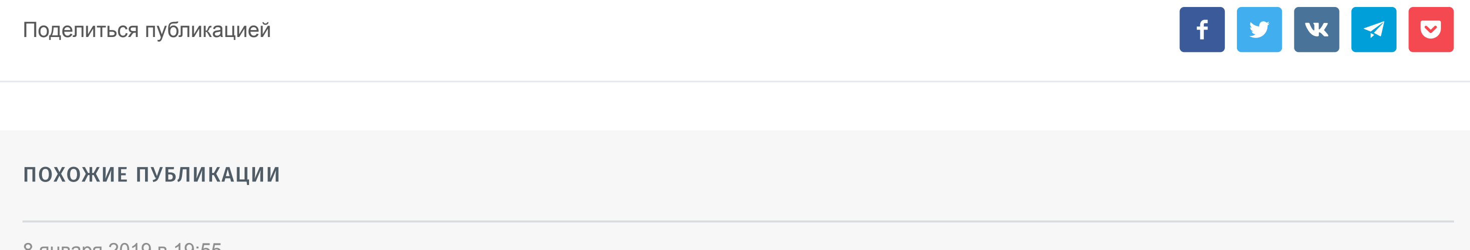
P.S. По просьбам трудящихся — сравнительное фото конденсаторов различных типоразмеров. Шаг сетки 5мм.

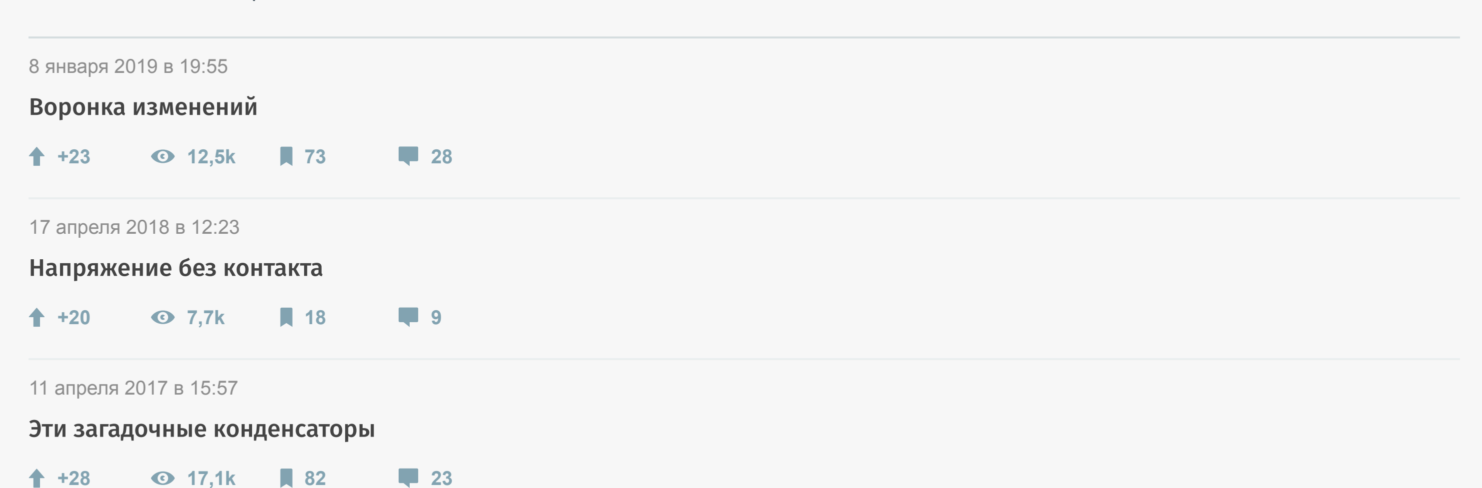


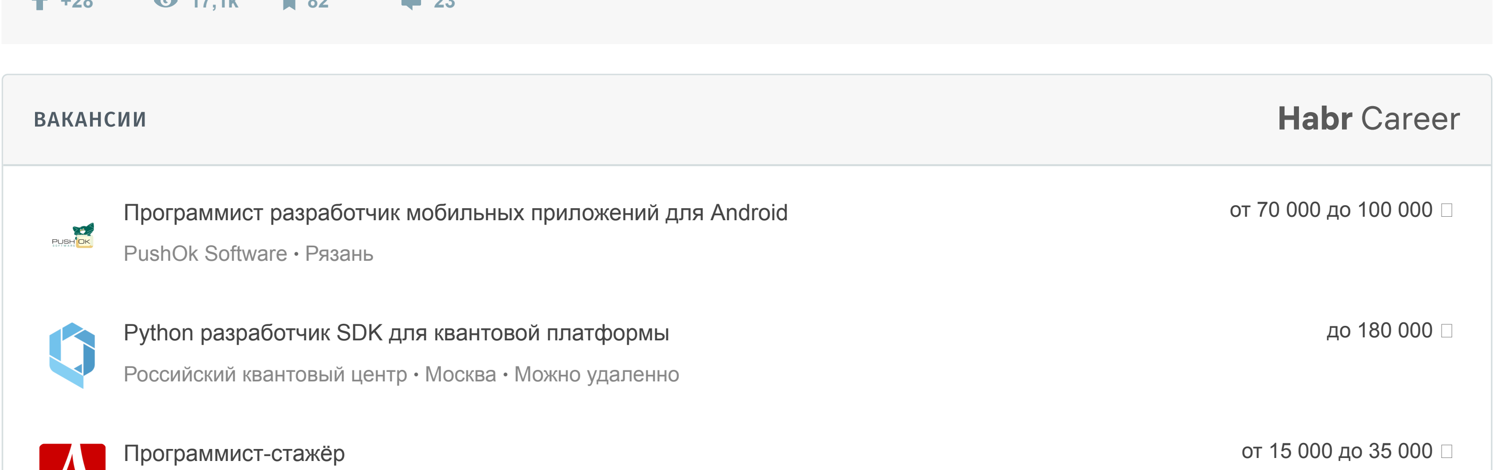
Теги: конденсатор, керамический конденсатор, X7R, X5R, Y5V, изменение ёмкости от напряжения

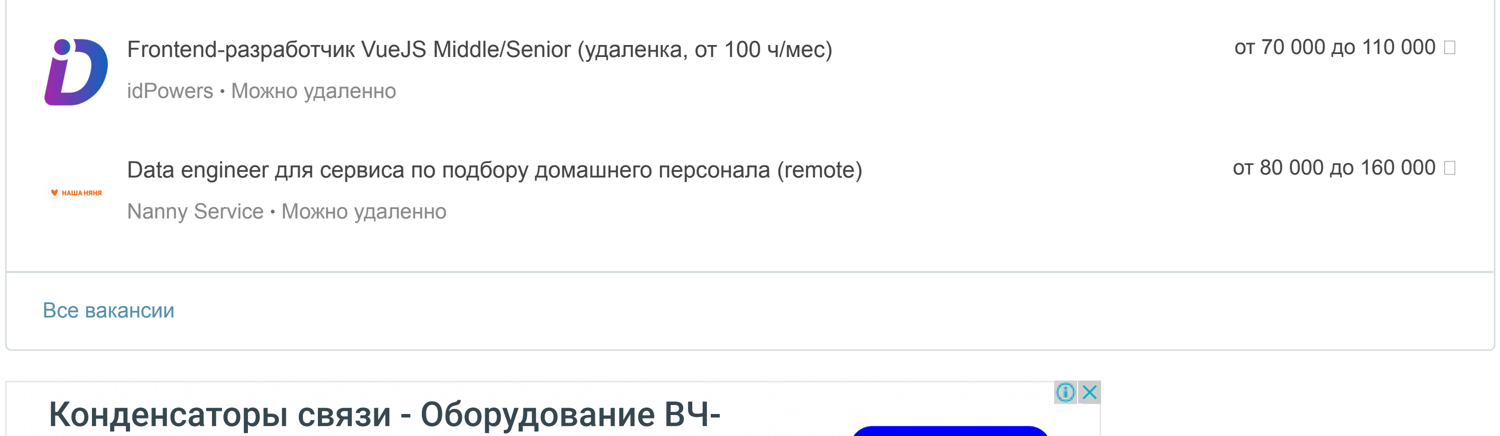












Комментарии 26

nerudo 11 октября 2015 в 23:50 +3

Занятно, чего только не узнаешь. Пойду завтра коллегам-схемотехникам покажу. А то может «мужики-то и не знают» ;-)



Alexeyslav 12 октября 2015 в 09:49 +4

Они скорей всего об этой проблеме знают, но не представляют масштабы трагедии.
Я об этом давно слышал, еще как только появились эти конденсаторы но тогда это выглядело не так уж плохо… учитывая что их обычно ставят в целях подавления импульсных помех по питанию, о такой особенности практически никто не задумывается т.к. они там стоят с многократным запасом, а всевозможные сбои списывают скорей на перегрев полупроводниковых элементов схемы чем на конденсаторы.
А тут использовали их в аналоговых цепях… куда просятся конденсаторы NP0, но у них другой фатальный недостаток — габариты.

Carry 12 октября 2015 в 01:35 +1

Прям не конденсаторы, а микрофоны.
Их, наверно, можно в пьезозажигалке использовать.

Alexeyslav 12 октября 2015 в 09:36 +3

Не микрофоны а варикапы. Микрофоны реагируют на звуковое давление, а не напряжение. Да и про «микрофонный эффект» в статье ни слова — это проблема совсем другого плана, да и скорей всего современные конденсаторы этому менее подвержены чем советские «красные флажки».

Carry 12 октября 2015 в 17:50 +1

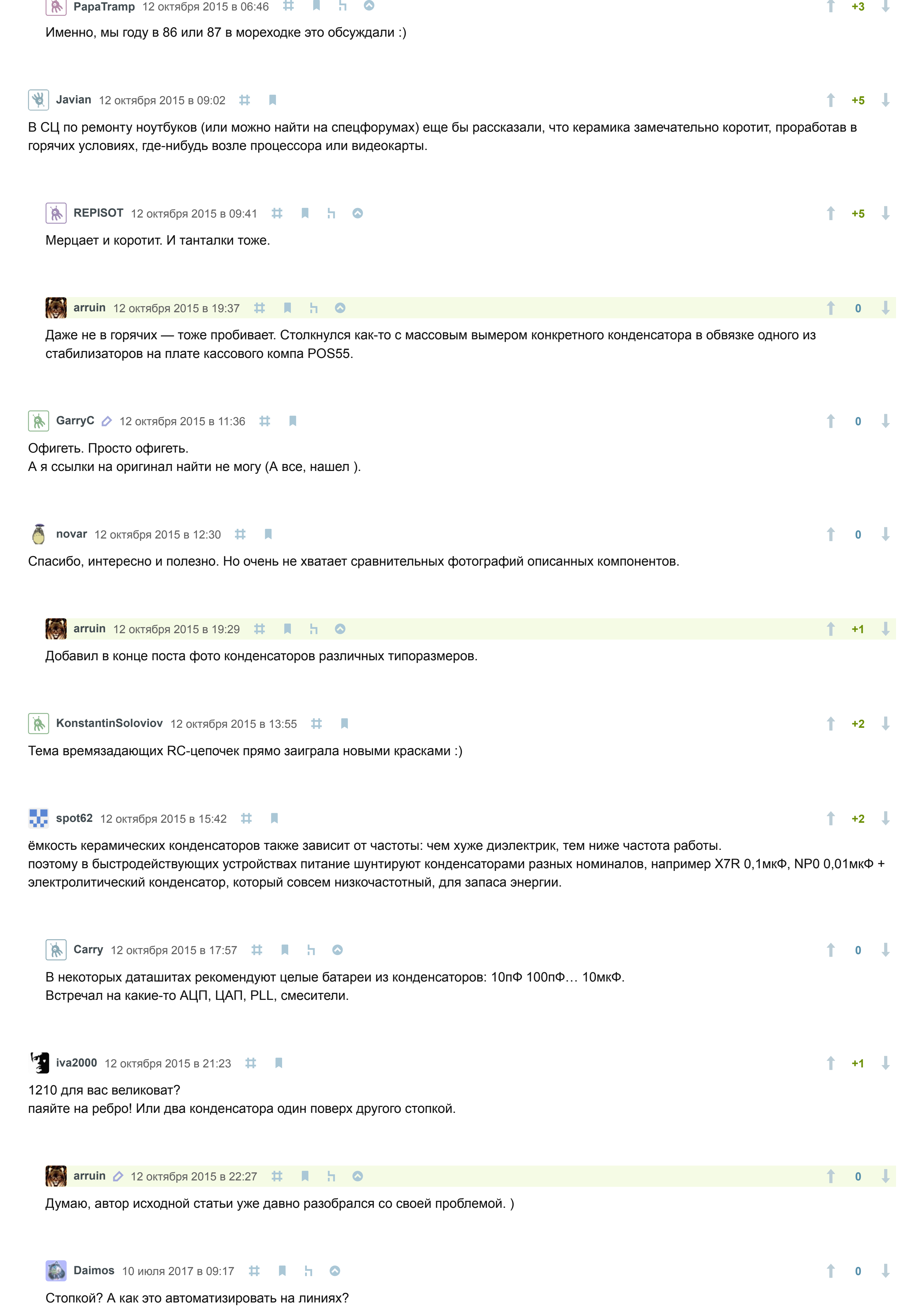
Микрофарады — вполне себе микрофоны, а еще и динамики). Некоторые звучат погромче дросселей.

AlexHa 14 октября 2015 в 17:48 +2

Не варикапы, а вариконды :) Специальный тип конденсаторов, выпускался такой в СССР. В ТУ на современные отечественные типы керамических конденсаторов, скажем, К10-17, К10-43 и т.п., подобных зависимостей ёмкости от напряжения не припоминаю. При такой зависимости керамические конденсаторы нельзя применять в схемах, где требуется высокая линейность. Скажем, в высококачественных усилителях звука.

Jeditobe 12 октября 2015 в 01:39 +4

Ну вообще об этом шла речь еще в старых советских книжках года эдак 86. Все возращается на круги своя.



PapaTramp 12 октября 2015 в 06:46 +3

Именно, мы году в 86 или 87 в мореходке это обсуждали :)

Javian 12 октября 2015 в 09:02 +5

В СЦ по ремонту ноутбуков (или можно найти на спецфорумах) еще бы рассказали, что керамика замечательно коротит, проработав в горячих условиях, где-нибудь возле процессора или видеокарты.

REPISOT 12 октября 2015 в 09:41 +5

Мерцает и коротит. И танталки тоже.

arruin 12 октября 2015 в 19:37 0

Даже не в горячих — тоже пробивает. Столкнулся как-то с массовым вымером конкретного конденсатора в обвязке одного из стабилизаторов на плате кассового компа POS55.

GarryC 12 октября 2015 в 11:36 0

Офигеть. Просто офигеть.
А я ссылки на оригинал найти не могу (А все, нашел).

novar 12 октября 2015 в 12:30 0

Спасибо, интересно и полезно. Но очень не хватает сравнительных фотографий описанных компонентов.

arruin 12 октября 2015 в 19:29 +1

Добавил в конце поста фото конденсаторов различных типоразмеров.

KonstantinSoloviov 12 октября 2015 в 13:55 +2

Тема времязадающих RC-цепочек прямо заиграла новыми красками :)

spot62 12 октября 2015 в 15:42 +2

ёмкость керамических конденсаторов также зависит от частоты: чем хуже диэлектрик, тем ниже частота работы.
поэтому в быстродействующих устройствах питание шунтируют конденсаторами разных номиналов, например X7R 0,1мкФ, NP0 0,01мкФ + электролитический конденсатор, который совсем низкочастотный, для запаса энергии.

Carry 12 октября 2015 в 17:57 0

В некоторых даташитах рекомендуют целые батареи из конденсаторов: 10пФ 100пФ… 10мкФ.
Встречал на какие-то АЦП, ЦАП, PLL, смесители.

iva2000 12 октября 2015 в 21:23 +1

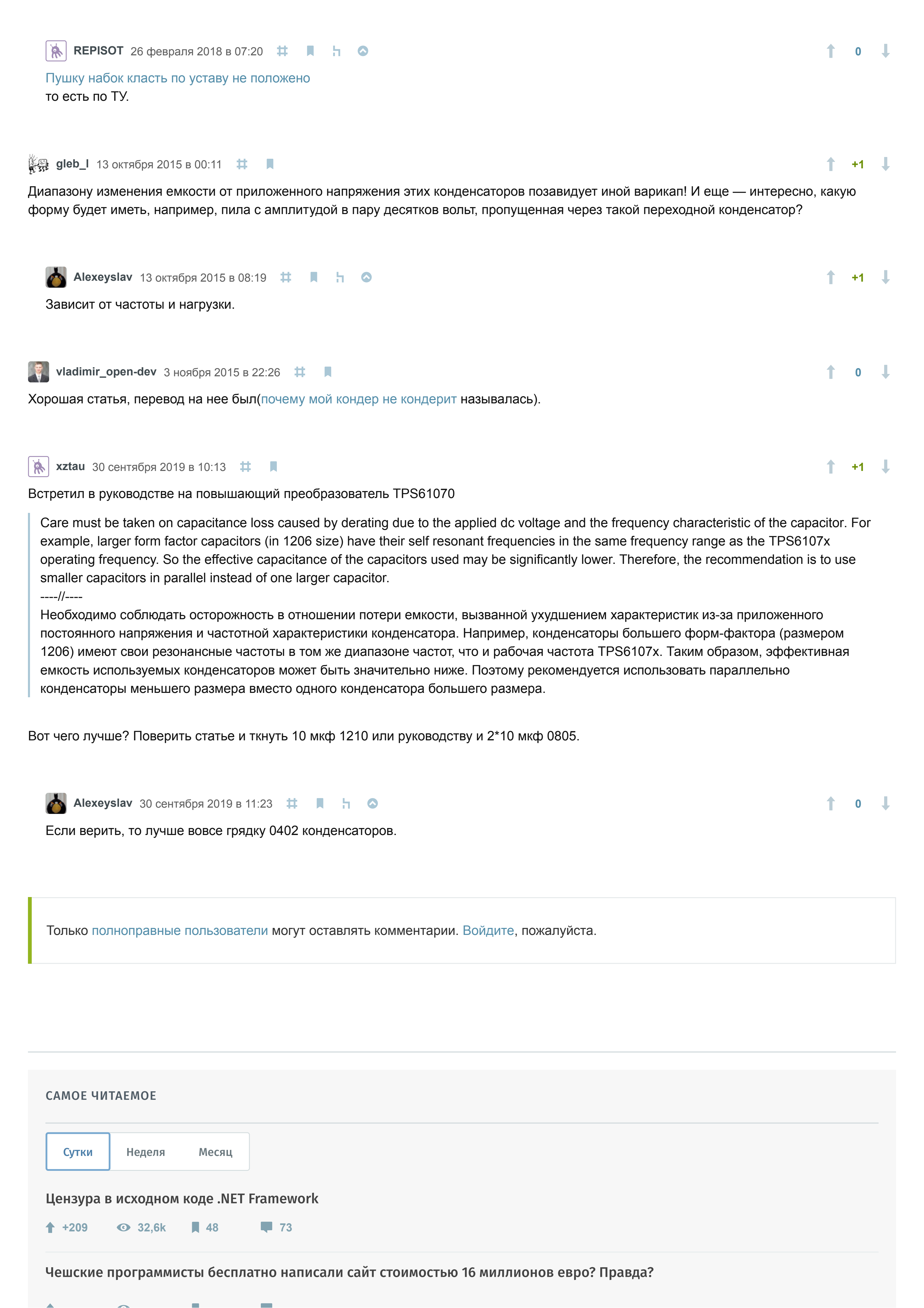
1210 для вас великоват?
паяйте на ребро! Или два конденсатора один поверх другого стопкой.

arruin 12 октября 2015 в 22:27 0

Думаю, автор исходной статьи уже давно разобрался со своей проблемой.)

Daimos 10 июля 2017 в 09:17 0

Стопкой? А как это автоматизировать на линиях?



REPISOT 26 февраля 2018 в 07:20 0

Пушку набок класть по уставу не положено
то есть по ТУ.

gleb_l 13 октября 2015 в 00:11 +1

Диапазону изменения емкости от приложенного напряжения этих конденсаторов позавидует иной варикап! И еще — интересно, какую форму будет иметь, например, пила с амплитудой в пару десятков вольт, пропущенная через такой переходной конденсатор?

Alexeyslav 13 октября 2015 в 08:19 +1

Зависит от частоты и нагрузки.

vladimir_open-dev 3 ноября 2015 в 22:26 0

Хорошая статья, перевод на нее был(почему мой кондер не кондерит называлась).

xztau 30 сентября 2019 в 10:13 +1

Встретил в руководстве на повышающий преобразователь TPS61070

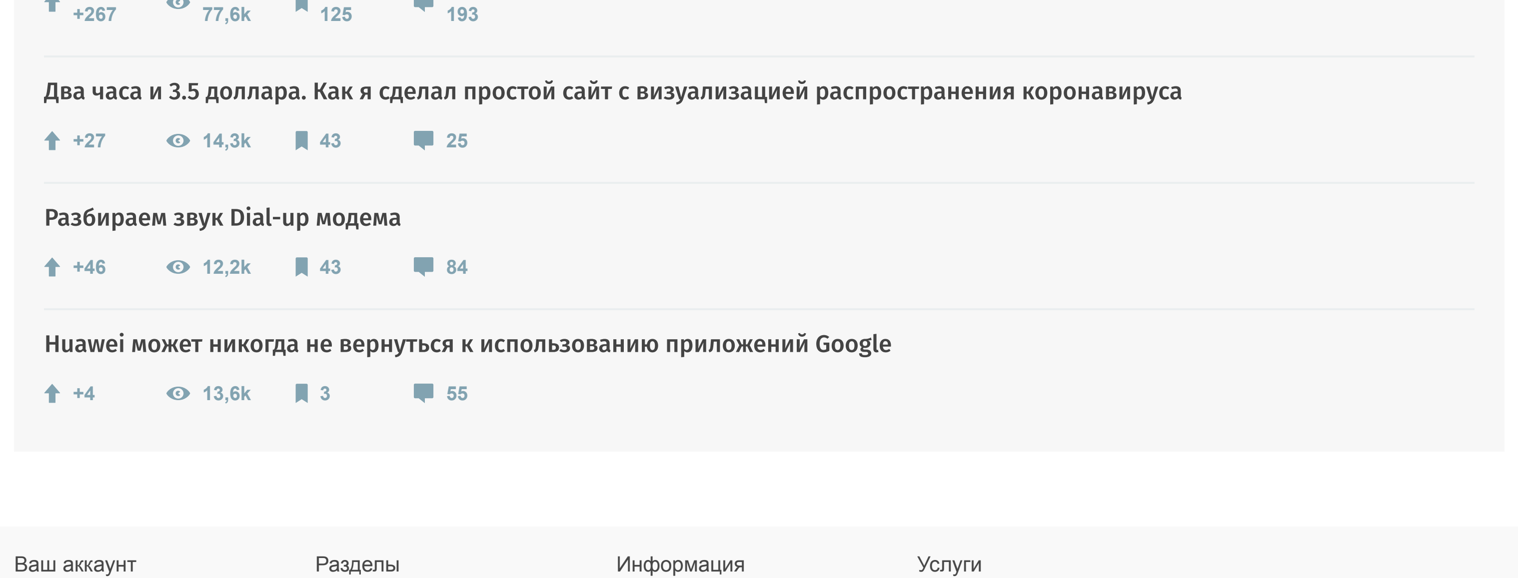
> Care must be taken on capacitance loss caused by derating due to the applied dc voltage and the frequency characteristic of the capacitor. For example, larger form factor capacitors (in 1206 size) have their self resonant frequencies in the same frequency range as the TPS6107x operating frequency. So the effective capacitance of the capacitors used may be significantly lower. Therefore, the recommendation is to use smaller capacitors in parallel instead of one larger capacitor.
> ----//----
> Необходимо соблюдать осторожность в отношении потери емкости, вызванной ухудшением характеристик из-за приложенного постоянного напряжения и частотной характеристики конденсатора. Например, конденсаторы большего форм-фактора (размером 1206) имеют свои резонансные частоты в том же диапазоне частот, что и рабочая частота TPS6107x. Таким образом, эффективная емкость используемых конденсаторов может быть значительно ниже. Поэтому рекомендуется использовать параллельно конденсаторы меньшего размера вместо одного конденсатора большего размера.

Вот чего лучше? Поверить статье и ткнуть 10 мкф 1210 или руководству и 2*10 мкф 0805.

Alexeyslav 30 сентября 2019 в 11:23 0

Если верить, то лучше вовсе грядку 0402 конденсаторов.

Только полноправные пользователи могут оставлять комментарии. Войдите, пожалуйста.



+267 77,6k 125 193

Два часа и 3.5 доллара. Как я сделал простой сайт с визуализацией распространения коронавируса

+27 14,3k 43 25

Разбираем звук Dial-up модема

+46 12,2k 43 84

Huawei может никогда не вернуться к использованию приложений Google

+4 13,6k 3 55





